

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ВИННИЧЕНКА**

Факультет математики, природничих наук та технологій
Кафедра природничих наук і методик їхнього навчання

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
В.о.завідувача кафедри

(Протокол 1 від «03» серпня 2023 року)



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

НПП 2.12.4 ТЕОРЕТИЧНА ФІЗИКА: ТЕРМОДИНАМІКА І СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА
(шифр і назва навчальної дисципліни)

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 01 Освіта/Педагогіка
(шифр галузі і назва галузі знань)

Спеціальність 014.15 Середня освіта (Природничі науки)
(код і назва спеціальності)

Освітня програма Середня освіта (Природничі науки)
(назва освітньої програми)
(назва рівня вищої освіти)

Форма здобуття освіти денна
(денна, заочна)

2023–2024 навчальний рік

Робоча програма з Теоретичної фізики: термодинаміка і статистична фізика
(назва навчальної дисципліни)

для студентів спеціальності 014 «Середня освіта (Природничі науки)»
освітня програма «Середня освіта (Природничі науки)» на першому
(бакалаврському) рівні вищої освіти

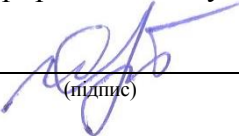
Розробник: Подопрігора Наталія Володимирівна, професор кафедри
природничих наук та методик їхнього навчання, доктор педагогічних наук,
професор

(вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)

Робочу програму обговорено та схвалено на засіданні кафедри природничих наук
і методик їхнього навчання

Протокол № 1 від 03 серпня 2023 року

В.о.завідувача кафедри природничих наук та методики їхнього навчання


(підпис) / Сальник І.В.
(прізвище та ініціали)

Робоча програма навчальної дисципліни Теоретична фізика: термодинаміка і
статистична фізика для студентів спеціальності 014.15 «Середня освіта
(Природничі науки) за першому рівні вищої освіти. ЦДУ імені В. Винниченка,
2023. 25 с.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма здобуття освіти
Кількість кредитів (ECTS) – 3	Галузь знань 01 Освіта/Педагогіка	Нормативна (фахова)
Модулів – 2	Спеціальність 014 «Середня освіта (Природничі науки)	Рік підготовки:
Змістових модулів – 2		4-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання _____ (назва)		Семестр
Загальна кількість годин – 90 36/54 (аудиторна/самостійна)		8-й
		Лекції
Кількість навчальних тижнів – 9 Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 ; самостійної роботи студента – 6	Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти	18 год.
		Практичні, семінарські
		18 год.
		Лабораторні
		0 год.
		Самостійна робота
		54 год.
Індивідуальні завдання:		
	0 год.	
	Вид контролю: 8-й семестр – <i>екзамен</i>	

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:

для денної форми навчання – 40% / 60%

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Мета дисципліни «Теоретична фізика: термодинаміка і статистична фізика» визначається метою освітньо-професійної програми (ОПП) підготовки бакалаврів спеціальності 014 «Середня освіта (Природничі науки)», що сприяє формуванню інтегрованої динамічної комбінації знань і умінь для вивчення студентами теоретичних та методологічних засад теоретичної фізики відповідно до структури спеціальної фахової компетентності з теоретичної фізики: *термодинаміка і статистична фізика*. Теоретична фізика, як навчальна дисципліна, згідно робочого навчального плану підготовки бакалаврів спеціальності 014 «Середня освіта (Природничі науки)» (2023–2024 н.р.) розробленого для студентів, які вступали на навчання у 2020 році і входить до циклу нормативних дисциплін професійної підготовки майбутніх учителів природничих наук, фізики, хімії, біології закладу загальної середньої освіти.

Комбінація знань, розумінь, умінь, здатностей та ін. компетентностей з термодинаміки і статистичної фізики (ТД і СФ) в структурі професійної компетентності майбутніх фахівців забезпечується їхньою теоретичною і практичною підготовкою, сприяючи *формуванню* в студентів: цілісного бачення світу, виробленню в них наукового підходу до аналізу проблем оточуючого світу; теоретичного та критичного мислення під час тлумачення явищ макроскопічних фізичних систем до феноменології термодинаміки та теоретичних основ статистичної фізики, а також формуванню їхньої здатності до теоретичних узагальнень у пізнанні з позицій: модельних гіпотез (кінетичної теорії ідеального газу і ін.), математичних гіпотез (кінетичних рівнянь термодинаміки, явищ переносу, теплових процесів і ін.), та методу принципів (СФ).

Мета вивчення дисципліни «Теоретична фізика: термодинаміка і статистична фізика» спрямована на *формування* у студентів засобами навчання ТД і СФ цілісного бачення світу, науковому світогляду; виробленню здатності до: реалізації наукового підходу під час аналізу проблем оточуючого світу, методології наукового пізнання у навчально-пізнавальній діяльності; *розвитку*: загальнонавчальних умінь (аналізу, узагальненню, систематизації, моделюванню і ін.), абстрактно-логічного, теоретичного та критичного мислення; творчих здібностей на засадах фундаменталізації, міждисциплінарної інтеграції, інформатизації та професійної спрямованості навчання.

Компетентності, якими мають володіти студенти:

Інтегральна компетентність – здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в галузі середньої освіти, що передбачає застосування теорій та методів освітніх наук та природничих наук, фізики, хімії, біології і характеризується комплексністю та невизначеністю педагогічних умов організації освітнього процесу в закладах загальної середньої освіти.

Загальні компетентності:

- ЗК1.** Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- ЗК2.** Здатність діяти на основі етичних міркувань (мотивів).
- ЗК3.** Здатність діяти соціально відповідально та свідомості.
- ЗК4.** Здатність працювати в команді.
- ЗК5.** Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК6.** Здатність застосовувати набуті знання в практичних ситуаціях.
- ЗК7.** Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК8.** Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
- ЗК10.** Здатність до адаптації та дії в новій ситуації.

Предметні (спеціальні фахові) компетентності:

- ФК1.** Здатність використовувати систематизовані теоретичні та практичні знання з термодинаміки і статистичної фізики при вивченні Всесвіту і природи Землі як планети.
- ФК2.** Володіння математичним апаратом термодинаміки і статистичної фізики.
- ФК8.** Здатність до рефлексії та самоорганізації професійної діяльності.

ФК11. Здатність характеризувати досягнення природничих наук та їх ролі у житті суспільства; формування цілісних уявлень про природу, використання природничо-наукової інформації на основі оперування базовими загальними закономірностями природи.

Програмні результати, які мають бути досягнуті:

Знання:

ПРНЗ2. Демонструє знання та розуміння термодинаміки і статистичної фізики, взаємозв'язок квантової механіки в структурі природничих наук та з іншими науками;

ПРНЗ3. Знає й розуміє математичні методи термодинаміки і статистичної фізики;

Уміння:

ПРНУ1. Аналізує природні явища і процеси, оперує базовими закономірностями природи на рівні сформованої природничо-наукової компетентності з погляду термодинаміки і статистичної фізики, їхніх теоретичних основ, теоретичних начал, принципів, а також на основі відповідних математичних методів.

ПРНУ3. Розв'язує задачі з термодинаміки і статистичної фізики різних рівнів складності.

ПРНУ4. Користується математичним апаратом термодинаміки і статистичної фізики, використання математичних методів, які застосовуються в термодинаміці і статистичній фізиці.

ПРНУ7. Уміє знаходити, обробляти та аналізувати інформацію з різних джерел, насамперед за допомогою інформаційних та хмарних технологій.

ПРНУ8. Самостійно вивчає нові питання термодинаміки і статистичної фізики за різноманітними інформаційними джерелами.

ПРНУ11. Дотримується правових норм і законів, нормативно-правових актів України, усвідомлює необхідність їх дотримання.

Комунікація:

ПРНК1. Володіє основами професійної мовленнєвої культури при вивченні термодинаміки і статистичної фізики.

ПРНК2. Пояснює фахівцям і не фахівцям стратегію сталого розвитку людства та екологічної безпеки і шляхи вирішення глобальних проблем людства.

Автономія і відповідальність

ПРНА1. Усвідомлює соціальну значущість майбутньої професії, сформованість мотивації до здійснення професійної діяльності.

ПРНА2. Відповідально ставиться до забезпечення охорони життя і власного здоров'я та оточуючих у освітньому процесі та позаурочній діяльності

2.2. Завдання вивчення дисципліни: під час вивчення ТД і СФ студенти з'ясовують: що являють собою макроскопічні фізичні системи, які перебувають у рівноважному стані, процеси переходу між цими станами на основі феноменологічного та статистичного методів дослідження і показати, що одержані висновки розширюють і доповнюють цілісне уявлення студентів про науковий підхід у дослідженні фізичних явищ, формування фундаментальних, інтегрованих і технологічних знань; розширюють та узагальнюють зміст основних фізичних понять (ТД: макроскопічна система, макроскопічні і мікроскопічні, калоричні і термічні параметри, початки термодинаміки, необоротність і ін.; СФ: ймовірність, фазовий простір, статистичний ансамбль систем, розподіли Гіббса, квантова і класична статистика, критерії виродження, статистичний зміст законів термодинаміки, принцип відповідності і ін.); вимоги для встановлення конкретних меж, критеріїв існування та використання законів ТД і СФ; якісно обговорюють проблеми і завдання теоретичних методів ТД і СФ.

Вивчення дисципліни передбачає, отримання знань та вмінь, які необхідні майбутньому вчителю природничих наук та фізики в його майбутній професійній діяльності.

2.3. Міждисциплінарні зв'язки: Дисципліна «Теоретична фізика: термодинаміка і статистична фізика» вивчається у тісному дидактичному зв'язку із дисциплінами циклу професійної підготовки (математичні методи фізики, загальна фізика та методика навчання природничих наук, зокрема фізики), засвоєння яких необхідно майбутнім учителям природничих наук та фізики для подальшої навчально-пізнавальної та професійної діяльності.

Дисципліна є часткою курсу теоретичної фізики («Математичні методи фізики», «Теоретична механіка», «Електродинаміка й основи спеціальної теорії відносності», «Квантова механіка» та «Термодинаміка і статистична фізика»), охоплює основні методи, засоби і прийомів феноменологічної термодинаміки і статистичної фізики в моделі Гіббса, зокрема статистичної термодинаміки. Набутий студентами на цей час багаж знань з дисциплін та «Загальна фізика» (розділи «Механіка», «Молекулярна фізика та термодинаміка», «Електрика та магнетизм», «Оптика та квантова фізика») дозволяють знайомити студентів з сучасними методами дослідження фізичних явищ на теоретичному рівні. Здатність студентів застосовувати знання та вміння сформовані під час вивчення теоретичної фізики, розділ: термодинаміка і статистична фізика в подальшому є основою для вивчення інших дисциплін: сучасних питань фізики, фізики твердого тіла, зокрема електронної теорії речовини, природничо-наукової картини світу тощо.

3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Модуль 1. ТЕРМОДИНАМІКА

Змістовий модуль 1. ТЕРМОДИНАМІКА

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1. ТЕРМОДИНАМІКА

Тема 1. Вступ.

Історія розвитку молекулярно-кінетичної теорії. Феноменологічний і статистичний методи в фізиці. Феноменологічна термодинаміка і статистична фізика.

Тема 2. Основні поняття термодинаміки

Термодинамічна система, параметри, рівновага. Нульовий принцип термодинаміки. Температура. *Гомогенні і гетерогенні системи.* Рівноважні і нерівноважні процеси. Внутрішня енергія системи. Робота і теплота. Термічне і калоричне рівняння стану.

Основні закони термодинаміки

Тема 3. Перший закон термодинаміки

Рівняння першого закону термодинаміки. Теплоємності і теплоти ізотермічних змін зовнішніх параметрів. Загальний вираз для зв'язку між C_p і C_v для простої системи (доведення). *Основні термодинамічні процеси (політропічний, адіабатичний, ізотермічний) та їх рівняння. Зв'язок між коефіцієнтами пружності і теплоємностями.*

Тема 4. Другий закон термодинаміки

Різні формулювання 2 закону термодинаміки. Оборотні і необоротні процеси. Ентропія та абсолютна температура. *Термодинамічна шкала температур.* Специфічність теплоти як форми енергії. Основне рівняння термодинаміки для рівноважних процесів. Зв'язок між термічним і калоричним рівняннями стану (*виведення*). *Зростання ентропії при дифузії газів і парадокс Гіббса.* Друге начало термодинаміки для нерівноважних процесів. Закон зростання ентропії. *Цикл Карно і теореми Карно.*

Тема 5. Третій закон термодинаміки

Хімічна спорідненість. Формулювання третього закону термодинаміки. Теорема Ернста. Недосяжність абсолютного нуля. *Виродження ідеального газу.*

Тема 6. Методи термодинаміки

Метод циклів. Метод термодинамічних потенціалів. Термодинамічні потенціали ідеального газу (*внутрішня енергія, вільна енергія, термодинамічний потенціал Гіббса, ентальпія*). Рівняння Гіббса-Гельмгольца. Система зі змінним числом частинок. Хімічний потенціал. *Термодинамічні потенціали систем із змінним число частинок. Хімічний потенціал. Недоліки термодинамічного опису процесів.*

Тема 7. Умови рівноваги і стійкості термодинамічних систем

Загальні умови термодинамічної рівноваги і стійкості. Стійка рівновага адіабатичної ізольованої системи. Принцип максимуму ентропії. Критерії стійкості ізотермічних систем. Принцип ле Шательє-Брауна.

Тема 8. Фазові переходи і критичні явища

Умови рівноваги двох фаз речовини та її стійкість. Класифікація фазових переходів. Фазові перетворення першого роду та умови рівноваги фаз в однокомпонентній системі. Крива рівноваги фаз. Рівняння Клайперона-Клаузіуса. Температурна залежність тиску насиченої пари. Критична точка. Рівновага трьох фаз речовини, потрійна точка. Поняття про фазові переходи другого роду. Критичні явища.

Тема 9. Застосування термодинаміки

Ефект Джоуля-Томсона. Охолодження газу за умови його необоротного адіабатичного розширення. Зрідження реальних газів. Охолодження газу за умови його оборотного адіабатичного розширення. Термодинамічні функції магнетиків. Магнітне та ядерне охолодження.

Модуль 2. СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА**Змістовий модуль 2. СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА****Тема 1. Елементи теорії ймовірностей**

Випадкові події. Випадкові величини. Імовірність. Густина імовірності. Нормування ймовірностей. Теорема додавання і множення ймовірностей. Обчислення середнього значення випадкової величини. Дисперсія. Функція розподілу ймовірностей. Розподіл ймовірностей для значень випадкової фізичної величини. Формула Стірлінга.

Основні поняття і принципи статистичної фізики.**Тема 2. Макроскопічний і мікроскопічний стани системи**

Мікроскопічний опис макросистеми і статистичний характер макропроцесів. Термодинамічна рівновага. Фазовий простір, фазова траєкторія. Поняття про статистичний ансамбль системи. Функція розподілу в фазовому просторі. Припущення про рівність середнього за часом середньому за статистичним ансамблем. Ергодична гіпотеза. Макроскопічні величини як фазові середні мікроскопічних змінних. *Теорема Ліувілля про збереження фазового об'єму.*

Розподіли Гіббса.**Тема 3. Мікроканонічний і канонічний розподіли Гіббса**

Зв'язок статистичного розподілу з адитивними законами збереження. Мікроканонічний розподіл в класичній статистиці. Квазінезалежні підсистеми і канонічний розподіл Гіббса. Фізичний зміст модуля канонічного розподілу.

Тема 4. Розподіл Максвелла-Больцмана

Розподіл Максвелла і Больцмана як частинні випадки канонічного розподілу. Молекула ідеального газу як квазінезалежна підсистема. Розподіл молекул за імпульсами і координатами. Розподіл молекул за швидкостями та енергіями. Найбільш імовірна, середньоарифметична та середньоквадратична швидкості молекул ідеального газу. Розподіл молекул за висотою у полі сил тяжіння. Барометрична формула.

Тема 5. Розподіл Гіббса в квантовій статистиці

Розподіл Гіббса в квантовій статистиці. Статистична сума і статистична вага. Перехід від квантової статистики до класичної. Квазікласичний розподіл (метод квантових комірок).

Тема 6. Великий канонічний розподіл

Квазізамкнена система із змінним числом частинок. Великий канонічний розподіл. Властивості канонічного розподілу для систем із змінним числом частинок.

Статистична теорія ідеальних та неідеальних систем.**Тема 7. Обчислення термодинамічних функцій класичного ідеального газу**

Термодинамічні величини як середні за канонічним розподілом. Статистичний інтеграл для ідеального газу. Обчислення основних термодинамічних потенціалів (внутрішня енергія, вільна енергія, термодинамічний потенціал Гіббса, ентальпія, параметрів термодинамічної системи) за допомогою канонічного розподілу. Рівняння стану ідеального газу. Рівняння Гіббса-Гельмгольца.

Тема 8. Статистичний зміст законів термодинаміки

Вивід із умови нормування канонічного розподілу рівняння Гіббса-Гельмгольца та об'єданого запису першого і другого начал термодинаміки. Теплоота і робота, їх мікроскопічний зміст. Перший закон статистичної термодинаміки як наслідок канонічного розподілу. Статистичний зміст ентропії. Формула Больцмана. Статистичний характер II закону термодинаміки. Статистичне обґрунтування III закону термодинаміки.

Тема 9. Реальний газ

Врахування взаємодії між молекулами. Статистичний інтеграл для реального газу. Рівняння стану реального одноатомного газу.

Тема 10. Теорема про рівномірний розподіл кінетичної енергії за ступенями вільності і класична теорія теплоємності газу

Вивід теореми із канонічного розподілу. Застосування теореми в класичній теорії теплоємностей. Результати класичної теорії теплоємностей і порівняння їх з експериментальними даними.

Тема 11. Квантова теорія теплоємності ідеального газу

Обчислення статистичної суми за станами однієї молекули. Поділ теплоємності на складові, які відповідають поступальному, коливальному і обертальному руху молекули. Обчислення складових теплоємностей і порівняння результатів з експериментальними даними.

Квантова статистика ідеальних газів.

Тема 12. Розподіли Фермі і Бозе

Різні моделі поведінки частинок. Модель Максвелла-Больцмана. Нерозрізненість частинок. Моделі Бозе-Ейнштейна і Фермі-Дірака. Вивід формул статистичних розподілів Фермі-Дірака і Бозе-Ейнштейна із великого канонічного розподілу. Умови переходу до розподілу Гіббса (Максвелла-Больцмана), критерій виродження.

Тема 13. Електронний газ у металах

Вільні електрони в металах як вироджений Фермі-газ. Аналіз розподілу Фермі-Дірака. Характеристична температура. Розподіл електронів за швидкостями і енергіями. Внутрішня енергія і теплоємність виродженого електронного газу в металах.

Тема 14. Вироджений Бозе-газ

Ідеальний Бозе-газ при низьких температурах. Явище Бозе-конденсації. Поняття про надплинність і надпровідність.

Тема 15. Фотонний газ

Явище конденсації у виродженому Бозе-газі. Рівноважне випромінювання як фотонний газ. Опис властивостей фононного газу за допомогою статистики Бозе-Ейнштейна. Формула Планка. Закон Стефана-Больцмана. Закон зміщення Віна.

Тема 16. Квантова теорія теплоємності твердих тіл

Класична теорія. Теплоємність при низьких температурах. Модель Ейнштейна. Недоліки теорії Ейнштейна. Нормальні моди. Фонони. Модель Дебая. Температура Дебая. Вивід формули для теплоємності, виходячи із уявлень про фонони.

Теорія флуктуацій

Тема 17. Флуктуації

Поняття флуктуації. Розрахунок флуктуацій за допомогою канонічного розподілу Гіббса. Флуктуації основних термодинамічних величин. *Флуктуації випромінювання. Флуктуації густини в газах. Молекулярне розсіяння світла та голубий колір неба.*

Тема 18. Броунівський рух

Поняття про броунівський рух. Розрахунок середнього квадрата зміщення броунівської частинки, формула Ейнштейна-Смолуховського.

Тема 19. Елементи теорії нерівноважних систем

Кінетичні коефіцієнти. Принцип симетрії кінетичних коефіцієнтів Онзагера. Кінетичне рівняння Больцмана і принцип детальної рівноваги. Інтеграл зіткнень. Час релаксації і довжина вільного пробігу. Теплопровідність в газах, коефіцієнт дифузії. Теплопровідність і в'язкість газу. Виробництво ентропії. Ефект Зеєбека, Пельтьє і Томсона.

Примітки: курсивом виділені питання програми, які виносяться на самостійне опрацювання.

4. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна форма)				
	усього	у тому числі			
		лекції	пр	інд	сп
Модуль 4. Термодинаміка і статистична фізика					
ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1. ТЕРМОДИНАМІКА					
Тема 1. Вступ	1	1	-	-	-
Тема 2. Основні поняття термодинаміки	5	1	2	-	2
Тема 3. Перший закон термодинаміки	5	1	2	-	2
Тема 4. Другий закон термодинаміки	6	2	2	-	2
Тема 5. Третій закон термодинаміки	5	1	2	-	2
Тема 6. Методи термодинаміки	6	2	2	-	2
Тема 7. Умови рівноваги і стійкості термодинамічних систем	2	-	-	-	2
Тема 8. Фазові переходи і критичні явища	2	-	-	-	2
Тема 9. Застосування термодинаміки	2	-	-	-	2
<i>Тестове завдання з термодинаміки</i>	1	-	-	-	1
<i>Разом за змістовим модулем 1</i>	35	8	10	-	17
ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2. СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА					
Тема 1. Елементи теорії ймовірностей	1	-	-	-	1
Тема 2. Макроскопічний і мікроскопічний стани системи	3	1	-	-	2
Тема 3. Мікроканонічний і канонічний розподіли Гіббса	6	2	2	-	2
Тема 4. Розподіл Максвелла-Больцмана	6	2	2	-	2
Тема 5. Розподіл Гіббса в квантовій статистиці	5	2	1	-	2
Тема 6. Великий канонічний розподіл	2	1	-	-	1
Тема 7. Обчислення термодинамічних функцій класичного ідеального газу	3	1	1	-	1
Тема 8. Статистичний зміст законів термодинаміки	3	1	1	-	1
Тема 9. Реальний газ	2	-	-	-	2
Тема 10. Теорема про рівномірний розподіл кінетичної енергії за ступенями вільності і класична теорія теплоємності газу	2	-	-	-	2
Тема 11. Квантова теорія теплоємності ідеального газу	2	-	-	-	2
Тема 12. Розподіли Фермі і Бозе	2	-	1	-	1
Тема 13. Електронний газ у металах	1	-	-	-	1
Тема 14. Вироджений Бозе-газ	1	-	-	-	1
Тема 15. Фотонний газ	1	-	-	-	1
Тема 16. Квантова теорія теплоємності твердих тіл	2	-	-	-	2
Тема 17. Флуктуації	2	-	-	-	2
Тема 18. Броунівський рух	2	-	-	-	2
Тема 19. Елементи теорії нерівноважних	2	-	-	-	2

систем					
<i>Тестове завдання зі статистичної фізики</i>	1	-	-	-	1
<i>Всього за змістовим модулем 2</i>	49	10	8	-	31
<i>Контрольна робота</i>	2	-	-	-	2
<i>Виконання інд. задач</i>	4	-	-	-	4
Усього годин	90	18	18	-	54

5. ТЕМАТИКА ЛЕКЦІЙ

Змістовний модуль I. ТЕРМОДИНАМІКА

Тема 1. Вступ.

1 год.

1. Два методи дослідження макроскопічних процесів: феноменологічна термодинаміка і статистична фізика. Термодинамічні системи, параметри, рівновага.
2. Загальність і обмеженість термодинамічного методу.
3. Статистична фізика як основа теорії макроскопічних процесів і її роль у становленні матеріалістичних уявлень про будову речовини.

Тема 2. Основні поняття термодинаміки.

1 год.

1. Термодинамічна рівновага. Нульове начало термодинаміки. Температура.
2. Внутрішня енергія системи. Робота і теплота.
3. Термічне і калоричне рівняння стану.

Тема 3. Перший закон термодинаміки.

1 год.

1. Перший закон термодинаміки.
2. Теплоємність. Загальний вираз для зв'язку між C_p і C_v для простої системи (доведення).

Тема 4. Другий закон термодинаміки.

2 год.

1. Різні формулювання 2 закону термодинаміки.
2. Оборотні і необоротні процеси.
3. Ентропія та абсолютна температура.
4. Специфічність теплоти як форми енергії. Основне рівняння термодинаміки для рівноважних процесів.
5. Зв'язок між термічним і калоричним рівняннями стану (*виведення*).
6. Друге начало термодинаміки для нерівноважних процесів. Закон зростання ентропії.

Тема 5. Третій закон термодинаміки.

1 год.

1. Третє начало термодинаміки. Теорема Нернста.
2. Недосяжність абсолютного нуля.

Тема 6. Методи термодинаміки.

2 год.

1. Метод циклів і метод термодинамічних потенціалів.
2. Термодинамічні потенціали ідеального газу (внутрішня енергія, *вільна енергія, термодинамічний потенціал Гіббса, ентальпія*). Рівняння Гіббса-Гельмгольца.
3. Система зі змінним числом частинок. Хімічний потенціал.

Змістовний модуль 2. СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА

Тема 2. Макроскопічний і мікроскопічний стани системи.

1 год.

1. Мікроскопічний опис макросистем і статистичний характер макропроцесів.
2. Термодинамічна рівновага. Фазовий простір, фазова траєкторія, μ -простір. Поняття статистичного ансамблю системи. Ергодічна гіпотеза.
3. Функція розподілу у фазовому просторі.
4. Макроскопічні величини як фазові середні мікроскопічних змінних.

Тема 2. Мікроканонічний і канонічний розподіли.

2 год.

1. Зв'язок статистичного розподілу з адитивними законами збереження.
2. Мікроканонічний розподіл в класичній статистиці

3. Квазінезалежні підсистеми. Канонічний розподіл Гіббса та його одержання. Фізичний зміст модуля канонічного розподілу.

Тема 4. Розподіл Максвелла-Больцмана.

2 год.

1. Розподіл Максвелла молекул за швидкостями та імпульсами як частковий випадок канонічного розподілу Гіббса. Молекула ідеального газу як квазінезалежна підсистема. Розподіл молекул за імпульсами і координатами.
2. Розподіл молекул за швидкостями та енергіями. Найбільшмовірна, середньоарифметична та середньоквадратична швидкості молекул ідеального газу.
3. Розподіл Больцмана як частковий випадок канонічного розподілу Гіббса. Барометрична формула.

Тема 5. Розподіл Гіббса в квантовій статистиці.

2 год.

1. Канонічний розподіл Гіббса в квантовій статистиці.
2. Статистична сума і статистична вага системи.
3. Перехід від квантової статистики до класичної. Квазікласичний розподіл (метод квантових комірок).

Тема 6. Великий канонічний розподіл.

1 год.

1. Система із змінним числом частинок. Хімічний потенціал. Великий канонічний розподіл.

Тема 7. Обчислення термодинамічних потенціалів за допомогою канонічного розподілу.

1 год.

1. Обчислення основних термодинамічних величин (параметрів термодинамічної системи) за допомогою канонічного розподілу.
2. Статистичний інтеграл для ідеального газу. Основні термодинамічні функції (внутрішня енергія, вільна енергія, термодинамічний потенціал Гіббса, ентальпія) і рівняння стану ідеального газу. Рівняння Гіббса-Гельмгольца.

Тема 8. Принцип Больцмана. Статистичний зміст законів термодинаміки.

1 год.

3. Рівняння Гіббса-Гельмгольца.
4. Статистичний зміст ентропії. Принцип Больцмана.
5. Тепло і робота їх мікроскопічний зміст. Теплоємність.
6. Перший принцип термодинаміки та одержання основного рівняння термодинаміки з канонічного розподілу Гіббса.
7. Статистичний характер другого закону термодинаміки. Статистичне обґрунтування третього принципу термодинаміки.
8. Основні термодинамічні співвідношення для систем із змінним числом частинок.

Всього:

18 год.

6. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Змістовий модуль 1. Термодинаміка і статистична фізика		
1.	Рівняння стану	2
2.	Внутрішня енергія, робота і кількість теплоти	2
3.	Теплоємність. Політропічні процеси	2
4.	ККД теплових двигунів	2
5.	Метод циклів, ентропія та її зміна	2
Змістовий модуль 2. Статистична фізика		
6.	Фазовий простір. Канонічний розподіл Гіббса.	2
7.	Розподіли Максвелла і Больцмана	2
8.	Термодинамічні функції і рівняння стану класичного газу	2
9.	Квантовий канонічний розподіл та функції розподілу	2
Усього годин		18

ЗМІСТ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
Змістовний модуль I. ТЕРМОДИНАМІКА

Практичне заняття №1. Рівняння стану.

2 год.

В аудиторії: №№ 1 – 1; 2; 3; 4; 5; 6. [8 (a)]

Домашнє завдання: №№ 1 – 8; 9; 10; 11. [8 (a)]

Запитання для самоконтролю:

1. Який розділ фізики називають термодинамікою?
2. У чому полягає термодинамічний метод дослідження?
3. У чому полягає статистичний метод дослідження?
4. Що називають макроскопічною системою?
5. Що називають макроскопічними параметрами?
6. Як класифікують макропараметри? Навести відповідні приклади.
7. Що називають мікроскопічними параметрами?
8. Що називають функцією стану термодинамічної системи?
9. Який стан термодинамічної системи називають рівноважним?
10. Яке рівняння стану системи називають термічним?
11. Яке рівняння стану системи називають колоричним?
12. Що називають кількістю речовини, одиниці її вимірювання?
13. Що називають відносною молекулярною масою речовини, одиниці її вимірювання?
14. Що називають атомарною масою речовини, одиниці її вимірювання?
15. Що називають сталою Авогадро, вказати її значення та одиниці її вимірювання?
16. Що називають сталою Больцмана, вказати її значення та одиниці її вимірювання?
17. Що називають універсальною газовою сталою, вказати її значення та одиниці її вимірювання?
18. Записати термічне рівняння стану для ідеального газу. Пояснити зміст його параметрів.
19. Записати термічне рівняння Ван-дер-Ваальса для реального газу. Пояснити зміст його параметрів та поправочних коефіцієнтів.
20. Записати термічне рівняння Дітерічі для реального газу. Пояснити зміст його параметрів та поправочних коефіцієнтів.

Практичне заняття №2. Внутрішня енергія, робота і кількість теплоти. 2 год.

В аудиторії: №№ 1 – 32; 34; 36; 42; 44; 45; 47. [8 (a)]

Домашнє завдання: №№ 1 – 38; 39; 48; 50. [8 (a)]

Запитання для самоконтролю:

1. Що називають повною енергією термодинамічної системи?
2. Що називають зовнішньою енергією термодинамічної системи?
3. Що називають внутрішньою енергією термодинамічної системи?
4. Сформулювати основні властивості внутрішньої енергії системи як функції стану.
5. Які види зміни внутрішньої енергії Вам відомі?
6. Які види теплопередачі Ви знаєте? Охарактеризувати їх.

7. Яка термодинамічна система вважається простою?
8. Що називають роботою термодинамічної системи? Вказати одиниці вимірювання. Записати формулу.
9. Сформулювати основні властивості роботи як функції процесу.
10. Записати формулу для розрахунку елементарної роботи для простої системи.
11. Що називають кількістю теплоти термодинамічної системи? Вказати одиниці вимірювання. Записати відомі формули.
12. Що називають теплоємністю термодинамічної системи, одиниці її вимірювання?
13. Що називають питомою теплоємністю термодинамічної системи, вказати одиниці її вимірювання?
14. Що називають молярною теплоємністю термодинамічної системи, вказати одиниці її вимірювання?
15. Що називають молярною теплоємністю ідеального газу при сталому об'ємі, вказати одиниці її вимірювання?
16. Що називають молярною теплоємністю ідеального газу при сталому тиску, вказати одиниці її вимірювання?
17. Записати формулу Майєра.
18. Яку кількість ступенів вільності має одноатомна, двоатомна і трьохатомна молекули?
19. Який процес називають ізотермічним, ізобаричним, ізохоричним?

Практичне заняття №3. Теплоємність. Політропічні процеси.

2 год.

В аудиторії: №№ 1 – 54; 55; 56; 57; 58; 59. [8 (а)]

Домашнє завдання: №№ 1 – 60; 61; 62; 63. [8 (а)]

Запитання для самоконтролю:

1. Що називають теплоємністю термодинамічної системи, одиниці її вимірювання?
2. Що називають питомою теплоємністю термодинамічної системи, вказати одиниці її вимірювання?
3. Що називають молярною теплоємністю термодинамічної системи, вказати одиниці її вимірювання?
4. Що називають молярною теплоємністю ідеального газу при сталому об'ємі, вказати одиниці її вимірювання?
5. Що називають молярною теплоємністю ідеального газу при сталому тиску, вказати одиниці її вимірювання?
6. Записати формулу Майєра.
7. Записати перший закон термодинаміки в диференціальній формі для простої системи.
8. Від яких макроскопічних параметрів залежить внутрішня енергія простої термодинамічної системи?
9. Сформулювати закон Джоуля для ідеального газу.
10. Записати інтегральний та диференціальний наслідок закону Джоуля для ідеального газу.
11. Який термодинамічний процес називають політропічним? Записати його рівняння. Що називають сталою політропи?

12. Який термодинамічний процес називають адіабатичним? Записати його рівняння. Що називають сталою адіабати?
13. Який термодинамічний процес називають ізотермічним? Записати його рівняння та зобразити графічно. Якого значення набуває стала політропи для такого процесу?
14. Який термодинамічний процес називають ізотермічним? Записати його рівняння та зобразити графічно. Якого значення набуває стала політропи для такого процесу?
15. Який термодинамічний процес називають ізохоричним? Записати його рівняння та зобразити графічно. Якого значення набуває стала політропи для такого процесу?

Практичне заняття № 4. ККД теплових двигунів.

2 год.

В аудиторії: №№ 1 – 92; 93; 94; 99; 100; 103. [8 (a)]

Домашнє завдання: №№ 1 – 95; 96; 97; 101. [8 (a)]

Запитання для самоконтролю:

1. Дати різні формулювання другого закону термодинаміки?
2. Що називають ідеальною тепловою машиною? Намалювати схему.
3. Зобразити схематично вічний двигун першого роду.
4. Зобразити схематично вічний двигун другого роду.
5. Які процеси у природі називають оборотними, а які необоротними?
6. Який цикл теплової машини називають циклом Карно? Намалювати графік.
7. Сформулювати першу теорему Карно.
8. Сформулювати другу теорему Карно.
9. Як розраховується коефіцієнт корисної дії теплового двигуна?
10. Як розраховується коефіцієнт корисної дії теплового двигуна, що працює за циклом Карно?

Практичне заняття № 5. Метод циклів, ентропія та її зміна

2 год.

В аудиторії: №№ 1 – 126; 128; 130; 146; 148; 150. [8 (a)]

Домашнє завдання: №№ 1 – 132; 135; 151; 153. [8 (a)]

Запитання для самоконтролю:

1. Що називають ентропією у термодинаміці? Одиниці її вимірювання.
2. Яку характеристику називають абсолютною температурою? Записати відповідну формулу.
3. Записати другий закон термодинаміки у вигляді рівності Клаузіуса.
4. Записати основне рівняння термодинаміки.
5. Записати зв'язок між термічним і калоричним рівняннями стану.
6. Сформулювати закон зростання ентропії.
7. Записати основну термодинамічну нерівність.
8. Пояснити у чому полягає парадокс Гіббса.
9. Сформулювати третій принцип термодинаміки у вигляді теореми Нернста.
10. У чому полягає зміст методу циклів?
11. Записати перший закон термодинаміки у диференціальній формі.

12. Що являє собою мікро цикл Карно?
13. Як розрахувати коефіцієнт корисної дії теплової машини?
14. Як розрахувати роботу теплової машини, яку вона виконує за цикл, аналітично й графічно?
15. Який цикл вважають прямим, а який зворотнім?
16. Якого граничного значення може набути коефіцієнт корисної дії машини, яка працює за циклом Карно? Сформулювати відповідно до цього третій закон термодинаміки.

Змістовний модуль II. СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА

Практичне заняття № 6. Фазовий простір. Канонічний розподіл Гіббса. 2 год.

В аудиторії: №№ 2 – 2; 3; 7; 11; 15. [8 (а)]

Домашнє завдання: №№ 2 – 4; 5; 9; 12. [8 (а)]

Запитання для самоконтролю:

1. Що являє собою статистична фізика як розділ науки?
2. У чому полягає статистичний метод дослідження фізичних явищ і процесів?
3. Як однозначно задати мікроскопічний стан системи?
4. Як однозначно задати макроскопічний стан системи?
5. Який стан системи називають рівноважним?
6. Що розуміють під часом релаксації?
7. Який простір називають фазовим?
8. Який простір називають μ -простором?
9. Записати закон розподілу імовірностей для часової послідовності.
10. Що називають статистичним ансамблем?
11. Записати закон розподілу імовірностей для ансамблю систем.
12. У чому полягає сутність ергодичної гіпотези?
13. Що називають функцією статистичного розподілу?
14. Як задається імовірність того, що зображаюча точка попадає в елемент об'єму фазового простору?
15. Як, знаючи вигляд функції статистичного розподілу обрахувати макропараметр термодинамічної системи?
16. Сформулювати теорему Ліувілля про збереження фазового об'єму?
17. Записати канонічний розподіл Гіббса, що він визначає? Пояснити зміст його параметрів.
18. Записати мікроканонічний розподіл Гіббса, що він визначає? Пояснити зміст його параметрів.
19. У чому різниця між мікро канонічним і макроканонічним розподілами Гіббса?

Практичне заняття № 7. Розподіли Максвелла і Больцмана.

2 год.

В аудиторії: №№ 2 – 20; 31; 36; 41; 51; 52. [8 (а)]

Домашнє завдання: №№ 2 – 21; 24; 42; 44. [8 (а)]

Запитання для самоконтролю:

1. Охарактеризувати, що являє собою статистичний розподіл Максвелла?
2. Як розраховується нормовочна стала розподілу Максвелла?
3. Записати розподіл Максвелла за проекціями імпульсу молекули ідеального газу у декартовій системі координат. Охарактеризувати що він визначає.
4. Записати розподіл Максвелла за проекціями лінійних швидкостей молекули ідеального газу у декартовій системі координат. Охарактеризувати що він визначає.
5. Записати розподіл Максвелла за швидкостями молекули ідеального газу. Охарактеризувати що він визначає. Намалювати графік.
6. Як визначається найбільш імовірна швидкість молекул ідеального газу?
7. Як визначається середньоарифметична швидкість молекул ідеального газу?
8. Як визначається середньоквадратична швидкість молекул ідеального газу?
9. За допомогою яких експериментальних дослідів перевірявся розподіл Максвелла?
10. Який фізичний зміст статистичного розподілу Больцмана?
11. Які фізичні обмеження накладаються на статистичну систему, щоб її стан можна було б описати за допомогою розподілу Больцмана?
12. Що визначає розподіл Больцмана у випадку відсутності потенціального поля?
13. Записати розподіл Больцмана для молекул ідеального газу у полі тяжіння Землі.
14. Записати барометричну формулу, що вона визначає, які межі її застосування?

Практичне заняття № 8. Термодинамічні функції і рівняння стану класичного газу.

2 год.

В аудиторії: №№ 2 – 62; 63; 64; 70. [8 (а)]

Домашнє завдання: №№ 2 – 65; 66; 71; 75. [8 (а)]

Запитання для самоконтролю:

1. Що являють собою термодинамічні величини з точки зору статистичної фізики?
2. Записати канонічний розподіл для класичних систем, пояснити, що він визначає.
3. Що називають інтегралом стану?
4. Записати умову нормування хвильової функції, пояснити зміст цієї умови?
5. Записати канонічний розподіл для квантових систем, пояснити, що він визначає.
6. Що називають статистичною сумою?
7. Що називають статистичною вагою?
8. Записати формулу для розрахунку внутрішньої енергії системи у класичному випадку, за допомогою інтегралу станів.
9. Записати формулу для розрахунку внутрішньої енергії системи у квантовому випадку, за допомогою статистичної суми.
10. Сформулювати мнемонічне правило Радускевича для відшукування зв'язків між термодинамічними функціями та параметрами термодинамічної системи.
11. Записати формулу для розрахунку вільної енергії системи у класичному випадку, за допомогою інтегралу станів.
12. Записати формулу для розрахунку тиску ідеального газу, за допомогою інтегралу станів.
13. Записати рівняння стану класичного газу, за допомогою інтегралу станів.

14. Записати формулу для розрахунку термодинамічного потенціалу Гіббса системи у класичному випадку, за допомогою інтегралу станів.
15. Записати формулу для розрахунку ентальпії системи у класичному випадку, за допомогою інтегралу станів.

Практичне заняття № 9. Квантовий канонічний розподіл та функції розподілу. 2 год.

В аудиторії: №№ 2 – 76; 78; 80; 81; 96. [8 (a)]

Домашнє завдання: №№ 2 – 77; 79; 82; 95. [8 (a)]

Запитання для самоконтролю:

1. Які особливості мають квантові системи у порівнянні з класичними з точки зору статистичної фізики?
2. Що являє собою канонічний розподіл в квантовій статистиці?
3. Що називають статистичною сумою?
4. Що називають термодинамічною імовірністю макрос тану?
5. Сформулювати постулат рівноймовірності всіх мікро станів довільної ізольованої системи.
6. У чому полягає зміст методу квантових комірок?
7. Як для квантової системи із f -степенями вільності пов'язаний елемент фазового об'єму з інтегралом мікро станів?
8. Записати канонічний розподіл Гіббса у квазікласичному наближенні.
9. Записати вигляд статистичної суми для квантового осцилятора.
10. Записати формулу для розрахунку середньої енергії лінійного квантового осцилятора.
11. Записати формулу для розрахунку внутрішньої енергії системи у квантовому випадку, за допомогою статистичної суми.
12. Як пов'язані між собою внутрішня енергія і теплоємність ідеального газу?
13. Записати квантовий розподіл Фермі-Дірака.
14. Записати квантовий розподіл Бозе-Ейнштейна.

Всього:

18 год.

7. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Термодинаміка і статистична фізика		
1.	Вступ	-
2.	Основні поняття термодинаміки	2
3.	Перший закон термодинаміки	2
4.	Другий закон термодинаміки	2
5.	Третій закон термодинаміки	2
6.	Методи термодинаміки	2
7.	Умови рівноваги і стійкості термодинамічних систем	2
8.	Фазові переходи і критичні явища	2
9.	Застосування термодинаміки	2
10.	<i>Тестове завдання з термодинаміки</i>	1
11.	Елементи теорії ймовірностей	1
12.	Макроскопічний і мікроскопічний стани системи	2

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
13.	Мікроканонічний і канонічний розподіли Гіббса	2
14.	Розподіл Максвелла-Больцмана	2
15.	Розподіл Гіббса в квантовій статистиці	2
16.	Великий канонічний розподіл	1
17.	Обчислення термодинамічних функцій класичного ідеального газу	1
18.	Статистичний зміст законів термодинаміки	1
19.	Реальний газ	2
20.	Теорема про рівномірний розподіл кінетичної енергії за ступенями вільності і класична теорія теплоємності газу	2
21.	Квантова теорія теплоємності ідеального газу	2
22.	Розподіли Фермі і Бозе	1
23.	Електронний газ у металах	1
24.	Вироджений Бозе-газ	1
25.	Фотонний газ	1
26.	Квантова теорія теплоємності твердих тіл	2
27.	Флуктуації	2
28.	Броунівський рух	2
29.	Елементи теорії нерівноважних систем	2
30.	<i>Тестове завдання із статистичної фізики</i>	1
31.	<i>Контрольна робота з термодинаміки і статистичної фізики</i>	2
32.	<i>Виконання індивідуальних задач</i>	4
Усього годин		54

7. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

(визначаються за номером у списку академічної групи)

8.1. *Методичні рекомендації до виконання індивідуальних завдань.* Індивідуальні завдання з курсу теоретичної фізики мають на меті перевірити вміння студента самостійно розв'язувати різноманітні фізичні задачі, аналогічні до тих, що були розглянуті під час практичних занять.

Пам'ятайте, що широту погляду на запропоновану задачу, вміння пов'язувати її з законами природи і з іншими суміжними задачами треба рішуче протиставити пошукам «потрібної формули» на основі здогадів, з'ясуванню, для чого дано ту чи іншу величину.

Розв'язування фізичних задач, як правило, має три етапи:

- 1) аналізу фізичної проблеми або опису фізичної ситуації;
- 2) пошуку математичної моделі розв'язку;
- 3) реалізації розв'язку та аналізу одержаних результатів.

На першому етапі фактично відбувається побудова фізичної моделі задачі, що подана в її умові:

- аналіз умови задачі, визначення відомих параметрів і величин та пошук невідомого;
- конкретизація фізичної моделі задачі за допомогою графічних форм (малюнки, схеми, графіки тощо);
- скорочений запис умови задачі, що відтворює фізичну модель задачі в систематизованому вигляді.

На другому, математичному етапі розв'язування фізичних задач відбувається пошук зв'язків і співвідношень між відомими величинами і невідомим:

- вибудовується математична модель фізичної задачі, робиться запис загальних рівнянь, що відповідають фізичній моделі задачі;
- враховуються конкретні умови фізичної ситуації, що описується в задачі, здійснюється пошук додаткових параметрів (початкові умови, фізичні константи тощо);
- приведення загальних рівнянь до конкретних умов, що відтворюються в умові задачі, запис співвідношення між невідомим і відомими величинами у формі часткового рівняння.

На третьому етапі здійснюються такі дії:

- аналітичне, графічне або чисельне розв'язання рівняння відносно невідомого;
- аналіз одержаного результату щодо його вірогідності й реальності, запис відповіді;
- узагальнення способів діяльності, які властиві даному типу фізичних задач, пошук інших шляхів розв'язку.

Термодинаміка і статистична фізика

№ з/п	Нумерація задач за посібником: Волчанський О.В., Подопрігора Н.В., Гур'євська О.М. Термодинаміка і статистична фізика: навчальний посібник. Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2012. 428 с.				
1.	1-12.	1-26.	1-64.	1-82.	1-107.
	2-1	2-34	2-57	2-85	2-104
2.	1-13.	1-27.	1-65.	1-83.	1-108.
	2-6	2-35	2-58	2-86	2-105
3.	1-14.	1-28.	1-66.	1-84.	1-109.
	2-8	2-37	2-59	2-87	2-106
4.	1-15.	1-29.	1-67.	1-85.	1-110.
	2-13	2-38	2-60	2-88	2-107

* завдання виконуються в окремому зошиті з детальним поясненням до кожної задачі.

б) Навчання на платформі Labster та виконання завдань симуляторів:

1) *«Heating Curves and Phase Changes: Distil Ethanol»*

Криві нагрівання та фазові зміни: дистиляція етанолу

Наприкінці цієї симуляції ви зможете:

- Пояснити твердий і газоподібний стани з погляду взаємодії частинок та енергії зв'язку
- Описати і пояснити характеристики газових переходів
- Прочитати фазову діаграму та пояснити кожну з її характеристик
- Інтерпретувати криву нагрівання речовини
- Пояснити різницю між кривою нагрівання та фазовою діаграмою, а також різницю між питомою і прихованою теплотою

2) *«Ideal Gas Law: Introduction»*

Закон ідеального газу (рівняння Клапейрона-Менделєєва): вступ

Наприкінці цієї симуляції ви зможете:

- Визначати зв'язок між тиском, об'ємом і температурою в газах
- Пояснювати стан газу за допомогою рівняння Клапейрона-Менделєєва

3) *«Ideal Gas Law: Apply to save a life»*

Закони ідеального газу: застосовуйте, щоб врятувати життя

Наприкінці цієї симуляції ви зможете:

- Встановлювати зв'язок між тиском, об'ємом і температурою ідеального газу за допомогою газової термометрії
- Застосовувати закони ідеального газу на практиці

4) *«Atmospheric Circulation, Climate, and Biomes: Determine the lab's location!»*

Конвекція в атмосфері, клімат і біоми: з'ясуємо де краще розташувати лабораторію!

Наприкінці цієї симуляції ви зможете:

- Описати, як атмосферна циркуляція викликає переважаючі вітри по всій земній кулі та керує тепловим потоком.
- Зрозуміти, як загальні відмінності атмосферного тиску на різних широтах (і різна кількість сонячної радіації, що надходить) впливають на систему локалізації конвекційних потоків в атмосфері.
- Зв'язати явище конвекції в атмосфері з кліматичними умовами, що визначають біоми Землі.

5) *«Human influence on climate change: balancing anthropogenic emissions and growing populations»*

Вплив людини на зміну клімату: баланс антропогенних викидів та зростаючого населення
Наприкінці цієї симуляції ви зможете:

- Пояснити, що являє собою антропогенна зміна клімату.
- Визначити ключові види діяльності, які сприяють зміні клімату
- Описати вплив глобальної зміни клімату на довкілля, людей та їхні засоби існування.

Зареєструватись на Labster через власну корпоративну адресу в домені @cuspu.edu.ua за запрошенням викладача.

9. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕЙТИНГУ

(не є обов'язковими)

9.1. Неформальна освіта:

Навчання на одній з міжнародних онлайн-платформ: Coursera, Udemy, Edx – пройти онлайн курс за умови погодження теми з викладачем, тривалості (не менше 4 тижнів) та строку від початку і завершення вивчення дисципліни (до початку заліково-екзаменаційної сесії).

Зареєструватись на пропорованих онлайн-платформах можна через адміністратора ЦДУ ім. В. Винниченка, звернувшись до нього листом на адресу: webmaster@cuspu.edu.ua з власної корпоративної адреси в домені @cuspu.edu.ua.

10. МЕТОДИ НАВЧАННЯ

– *методи пізнання*: абстрагування, ідеалізація, узагальнення і систематизація знань, проблемно-пошуковий, моделювання фізичних явищ і процесів на лекціях; актуалізація опорних знань та послідовне виконання визначеної системи завдань на практичних заняттях; індивідуальне обговорення складних для засвоєння студентами теоретичних питань та індивідуальних завдань курсу на консультаціях;

– *методи управління*: моніторинг рівнів сформованості (мотивації – професійної, навчально-пізнавальної, соціальної інтенсифікації, утилітарної; засвоєння – глибина, міцність, системність знань, успішність вивчення дисципліни; наукового світогляду – фундаментальності, інтегрованості і технологічності знань з дисципліни тощо), діагностика, аналіз, коригування.

Форми організації навчальної діяльності студентів:

– аудиторна, в межах якої виділяються колективні (лекції, обговорення теоретичних питань), групові (практичні заняття, обговорення теоретичних питань та розв'язування задач з теми практичного заняття) та індивідуальні (консультації, тестовий контроль з теоретичних питань лекцій)

– позааудиторна (самостійна), в межах якої виділяємо індивідуальну (виконання інтерактивних вправ з питань, винесених на самостійне опрацювання, розв'язування домашніх та індивідуальних задач, задач контрольної роботи, завдань симуляторів на платформі Labster)

11. ФОРМИ І МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ТА ОЦІНЮВАННЯ

Усне опитування (на практичних заняттях та екзамені), тестування (Google Form) і перевірка письмових робіт (домашніх робіт, контрольних, та індивідуальних завдань) виконання інтерактивних вправ (Google в Classroom, симуляторів Labster), колективне обговорення (запитань, що виносяться на самостійне опрацювання студентами для підготовки до практичних занять, результатів тестового контролю, виконаних інтерактивних вправ тощо), врахування результатів навчання на засадах неформальної освіти на міжнародних онлайн-платформах (Coursera, Udemy, Edx).

Оцінювання тестових завдань Google Form

Оцінювання тестових завдань здійснюється відповідно до критеріїв і структури завдання (1 бал за кожну правильну відповідь з накопиченням за кількістю запитань тесту. Підсумкова

кількість балів переводиться в оцінку за рівнями – високий «відмінно», достатній «добре», середній «задовільно», низький «незадовільно»).

Тестове завдання з термодинаміки передбачає виконання 30 завдань: Кількість балів за правильну відповідь = 1. Максимальна кількість балів за тест = 30, яка переводиться в оцінку, з округленням у бік цілого, в чотирибальну шкалу: 30 балів – високий рівень – "відмінно", 25 балів – достатній рівень – "добре", 15 балів – середній рівень – "задовільно", 10 балів – низький рівень – "незадовільно" (з округленням у бік цілого). Незадовільна оцінка потребує перескладання.

Тестове завдання із статистичної фізики передбачає виконання 30 завдань: Кількість балів за правильну відповідь = 1. Максимальна кількість балів за тест = 30, яка переводиться в оцінку, з округленням у бік цілого, в чотирибальну шкалу: 30 балів – високий рівень – "відмінно", 25 балів – достатній рівень – "добре", 15 балів – середній рівень – "задовільно", 10 балів – низький рівень – "незадовільно" (з округленням у бік цілого). Незадовільна оцінка потребує перескладання.

Оцінювання інтерактивних вправ у Google Classroom враховує їхні дидактичні особливості:

- охопити питання курсу, винесені на самостійне опрацювання з двох тем «Термодинаміка» і «Статистична фізика»
- застосувати інструмент автоматичного оцінювання;
- визначати поняття, які потребують більше часу на вивчення;
- виявити студентів, яким потрібна додаткова допомога;
- з'ясувати статистику успішності та відкоригувати форми і методи провадження освітньої діяльності в подальшому плануванні занять.

Кожною вправою передбачено виконання 50 завдань на задану тему.

Кількість балів за симулятор вправу виставляється лише за умови виконання всіх її завдань (з прогресом 100%) за оцінкою автоматично визначеною вправою та переводиться в бали за чотирибальною школою:

- 90-100% - 5 балів – високий рівень «відмінно»
- 74-89% - 4 бали – достатній рівень «добре»
- 60-73% - 3 бали – середній рівень «задовільно»
- 1-59% - 0 балів – низький рівень «незадовільно»

Незадовільна оцінка передбачає перескладання.

Оцінювання домашніх завдань передбачає оцінювання розв'язку 4 задач за кожною темою практичного заняття – по 0,5 балу за кожну задачу. Максимальна кількість балів за тему – 2 бали, максимальна кількість балів за всі практичні роботи – $9 \cdot 2 = 18$.

Критерії оцінювання розв'язку однієї домашньої задачі:

0,5 балів ставиться тоді, коли студент вільно володіє теоретичним матеріалом (законами, формулами), що проявляється у самостійному розв'язку задач на 4 й більше й більше логічних кроків, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

0,4 бали ставиться тоді, коли студент засвоїв теоретичний матеріал, може самостійно розв'язувати задачі на 4 й більше логічних кроків репродуктивного характеру, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

0,3 бали ставиться тоді, коли студент вміє розв'язувати задачі і вправи на 1-3 кроки репродуктивного характеру, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

В усіх останніх випадках ставиться відповідь оцінюється у **0 балів**.

Підсумкова кількість балів за виконану домашню роботу переводиться в оцінку за рівнями – високий (2 балів) «відмінно», достатній (1,6 балів) «добре», середній (1,2 балів) «задовільно», низький (0,6 і нижче балів) «незадовільно». Незадовільна оцінка потребує перескладання.

Оцінювання індивідуальних завдань передбачає оцінювання розв'язку 10 задач – по 1 балу за кожну задачу. Максимальна кількість балів: 10.

Критерії оцінювання розв'язку однієї задачі індивідуального завдання:

1 балів ставиться тоді, коли студент вільно володіє теоретичним матеріалом (законами, формулами), що проявляється у самостійному розв'язку задач на 4 й більше й більше логічних кроків, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

0,8 бали ставиться тоді, коли студент засвоїв теоретичний матеріал, може самостійно розв'язувати задачі на 4 й більше логічних кроків репродуктивного характеру, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

0,6 бали ставиться тоді, коли студент вміє розв'язувати задачі і вправи на 1-3 кроки репродуктивного характеру, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

В усіх останніх випадках ставиться відповідь оцінюється у **0 балів**.

Підсумкова кількість балів переводиться в оцінку за рівнями – високий (10 балів) «відмінно», достатній (8 балів) «добре», середній (6 балів) «задовільно», низький (4 і нижче балів) «незадовільно». Незадовільна оцінка потребує перескладання.

Оцінювання контрольної роботи передбачає оцінювання розв'язування задач за варіантами – 2 задач з термодинаміки і 1 задачі із статистичної фізики – 2 бали за задачу. Максимальна кількість балів: $2*2+2=6$.

Критерії оцінювання розв'язку однієї задачі контрольної роботи:

2 балів ставиться тоді, коли студент вільно володіє теоретичним матеріалом (законами, формулами), що проявляється у самостійному розв'язку задач на 4 й більше й більше логічних кроків, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

1,6 бали ставиться тоді, коли студент засвоїв теоретичний матеріал, може самостійно розв'язувати задачі на 4 й більше логічних кроків репродуктивного характеру, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

1,2 бали ставиться тоді, коли студент вміє розв'язувати задачі і вправи на 1-3 кроки репродуктивного характеру, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

В усіх останніх випадках ставиться відповідь оцінюється у **0 балів**.

Підсумкова кількість балів переводиться в оцінку за рівнями – високий (6 балів) «відмінно», достатній (5 балів) «добре», середній (4 балів) «задовільно», низький (2 і нижче балів) «незадовільно». Незадовільна оцінка потребує перескладання.

При оцінюванні письмових робіт враховується частка завдання, яка виконана правильно.

Оцінювання інтерактивних вправ Labster

Завданням передбачено виконання 6 симуляторів Labster на задану тему

Кількість балів за симулятор Labster виставляється лише за умови виконання завдання повністю (з прогресом 100%) через встановлення пропорційності за часткою визначеного симулятором кількістю балів за чотирибальною шкалою:

90-100% - 5 балів – високий рівень «відмінно»

74-89% - 4 бали – достатній рівень «добре»

60-73% - 3 бали – середній рівень «задовільно»

1-59% - 0 балів – низький рівень «незадовільно»

Підсумкова кількість балів обраховується за формулою

Максимальна кількість балів за Labster = $(L1+L1+L3+L4+L5+L6)/5 = 6$ балів

ОЦІНЮВАННЯ УСНИХ ВІДПОВІДЕЙ:

При оцінюванні усної відповіді студентом оцінюються:

- висвітлення логічно відповідає змісту питань курсу;
- знання фактів до визначених елементів теорії та їх узагальнення;
- знання й висвітлення експериментальних результатів;
- знання принципів і постулатів;
- уміння пов'язувати зміст питань з різних тем курсу;
- виражати власну точку зору щодо аналізу елементів курсу та наукового світогляду людства;
- вміння застосувати знання в новій ситуації.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ НА ЕКЗАМЕНІ

Підсумкове оцінювання на екзамені обраховується як сума балів за виконані завдання в екзаменаційному білеті. Зміст екзаменаційних білетів складається з теоретичного і практичного складників (2 теоретичних питань за програмою курсу – одного з термодинаміки, і одного із статистичної фізики– 5 балів за кожне $(5+5) \times 2 = 20$ балів; 1 практичне завдання з розв'язування задачі – 5 балів $\times 4 = 20$ балів. Усього 40 балів).

Оцінювання теоретичного питання:

5 балів ставиться тоді, коли студент: виявляє правильне розуміння фізичного змісту розглянутих явищ і закономірностей, законів і теорій, дає точне визначення і тлумачення основних понять, законів і теорій, а також правильне визначення фізичних величин буде відповідь за власним планом, супроводжує розповідь власними прикладами, вміє застосувати знання в новій ситуації; може встановити зв'язок між матеріалом, що вивчається, і раніше вивченим.

4 бали студент одержує в разі неповного відтворення відповіді, пов'язане з випущенням або нерозумінням одного-двох положень, постулатів, принципів і невмінням визначити їх за довідниками, посібниками.

3 бали оцінюється відповідь, у якій лише відтворено основні постулати й принципи, на яких ґрунтується зміст відповідей без математичного виведення лише фрагментарним описом окремих елементів.

У 0 балів оцінюється відповідь, що складають логічно не зв'язані фрагментарні відомості, які не дозволяють судити про розуміння суті відповіді; відсутність знань законів, постулатів і їх математичних виразів.

Оцінювання завдань з розв'язування задачі:

5 балів ставиться тоді, коли студент вільно володіє теоретичним матеріалом (законами, формулами), що проявляється у самостійному розв'язку задач на 4 й більше й більше логічних кроків, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

4 бали ставиться тоді, коли студент засвоїв теоретичний матеріал, може самостійно розв'язувати задачі на 4 й більше логічних кроків репродуктивного характеру, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

3 бали ставиться тоді, коли студент вміє розв'язувати задачі і вправи на 1-3 кроки репродуктивного характеру, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

В усіх останніх випадках ставиться відповідь оцінюється у **0 балів**.

При оцінюванні письмових робіт враховується частка завдання, яка виконана правильно.

Оцінювання завдань для підвищення рейтингу (до 10 балів):

За проходження одного онлайн курсу (тривалістю не менше ніж 5 тижнів) та отримання сертифікату про його завершення на одній з міжнародних онлайн-платформ Coursera, Udemy або Edx передбачено врахування 10 балів, які корелюють підсумкову кількість балів за семестр до 60 балів (до початку заліково-екзаменаційної сесії).

12. РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ СТУДЕНТИ

Термодинаміка і статистична фізика

Поточне оцінювання та самостійна робота								Екзамен	Сума
Теоретичний складник				Практичний складник				40	100
Т-ТД	Т-СФ	В-ТД	В-СФ	ДЗ	КР	ІДЗ	Labster		
5	5	5	5	18	6	10	6		

Примітка: Оцінювання проводиться за видами навчальної діяльності: Т – тестовий контроль Google-forms з теоретичних питань, винесених на лекції (2 теста з ТД і СФ – по 5 балів за кожен); В – інтерактивні вправи в Classroom з вивчення теоретичних питань, винесених на самостійне опрацювання (2 вправи з ТД і СФ – по 5 балів за кожен); ДЗ – виконання домашніх задач (9 домашніх завдань по 4 задачі – 0,5 бали за кожен); КР – контрольна робота (3 задачі по 2 бали за кожен); ІДЗ – виконання індивідуальних завдань (10 задач по 1 балу за кожен); Labster – виконання симуляторів на платформі Labster (3 симулятора по 2 бали за кожен).

Додатково – завдання для підвищення рейтингу до 10 балів, які корелюють підсумкову кількість балів за семестр до початку екзамену до 60 балів.

Підсумкове оцінювання **на екзамені** обраховується як сума балів за виконані завдання в екзаменаційному білеті. Зміст **екзаменаційних білетів** складається з теоретичного і практичного складників (2 теоретичних питань за програмою курсу – одного з термодинаміки, і одного із статистичної фізики – 5 балів за кожне $(5+5) \times 2 = 20$ балів; 1 практичне завдання з розв'язування задачі – $5 \text{ балів} \times 4 = 20$ балів. Усього 40 балів).

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою для екзамену
90–100	A	відмінно
82-89	B	добре
74-81	C	
64-73	D	задовільно
60-63	E	
35-59	FX	
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

13. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Робоча програма і силабус дисципліни, підручники, навчальні посібники, конспекти лекцій, завдання до практичних занять, перелік запитань для самоконтролю для підготовки до практичних занять, тестові завдання щодо вивчення теоретичного матеріалу на лекціях, завдання до виконання контрольної роботи, індивідуальних задач, інтерактивні вправи щодо вивчення теоретичного матеріалу, винесеного на самостійне опрацювання, екзаменаційні білети тощо.

14. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Термодинаміка і статистична фізика

Базова (а)

1. Єрмолаєв О. М., Рашба Г. І. Вступ до статистичної фізики і термодинаміки: Навчальний посібник. Х.: ХНУ, 2004. 516 с. Режим доступу: <http://surl.li/pwfttr>
2. Мороз І.О. Основи термодинаміки: навч. посібник. Суми (2009). 180 с. Режим доступу: <http://surl.li/pwfkd>
3. Основи статистичної термодинаміки та елементи нанотермодинаміки. Практичні заняття зі статистичної фізики та термодинаміки. Частина 1 : навчальний посібник / І. О. Мороз, О. М. Завражна. Суми : Вид-во СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. 240 с. Режим доступу: <http://surl.li/pwfuy>
4. Рубіш В.В. Конспект лекцій з курсу "Термодинаміка та статистична фізика". Ужгород, 2015. 155 с. Режим доступу: <http://surl.li/pwfhc>
5. Статистична фізика: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. М. Коваль. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 82 с. Режим доступу: <http://surl.li/pwfec>
6. Теоретична фізика. Статистична фізика та термодинаміка. Основні принципи статистики та термодинаміки [Електронний ресурс]: навч. посіб. / С. О. Решетняк, В. Ф. Русаков. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 136 с. Режим доступу: <http://surl.li/pwffv>
7. Термодинаміка і статистична фізика (курс лекцій): навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів фізико-математичних спеціальностей. Умань: ПП «Жовтий», 2015. 132 с. Режим доступу: <http://surl.li/pwfdg>
8. Термодинаміка і статистична фізика: навчальний посібник [для студ. фізик. спец. пед. вищ. закл.] / Волчанський О.В., Подопригора Н.В., Гур'євська О.М. Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В.Винниченка, 2012. 428 с. (Рекомендовано МОНмолодьспорту лист № 1/11-12975 від 08.08.12). Режим доступу: <http://surl.li/pwfew>

Допоміжна (б)

9. Подопригора Н.В., Гур'євська О.М. Використання мнемотехнік у методиці навчання термодинаміки. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія: педагогічна. 2012. Вип.81: Інновації в навчанні фізики: національний та міжнародний досвід. С. 223-225. Режим доступу: <http://surl.li/pwfyf>
10. Теплохолодотехніка: навч. посібник / С.М. Василенко, В.І. Павелко, А.В. Форсюк, Масліков М.М., І.В. Іващенко, С.В. Барановська. К.: «Ліра-К», 2019. 258 с. Режим доступу: <http://surl.li/pwfpf>
11. Термодинаміка і теплообмін. Частина І. Основи термодинаміки : навч. посіб. / В. В. Ємець, В. Г. Тягній. Харків : ХНУВС, 2023. 128 с. Режим доступу: <http://surl.li/pwfrg>
12. Термодинаміка та теплопередача: навч. посібник / М.А. Приходько, Г.Г. Герасимов. Рівне (2008). 251 с. Режим доступу: <http://surl.li/pwfmi>
13. Технічна термодинаміка і теплообмін : підручник / О. А. Вассерман, О. Г. Слинко. Одеса : Фенікс, 2019. 496 с. Режим доступу: <http://surl.li/pwfsg>